

ВПЛИВ СИСТЕМИ ЖИВЛЕННЯ БЕНЗИНОВОГО ДВИГУНА НА ТЯГОВО-ШВИДКІСНІ ВЛАСТИВОСТІ ЛЕГКОВОГО АВТОМОБІЛЯ

У статті наведені результати аналітичного дослідження тягово-швидкісних властивостей автомобіля зі штатною карбюраторною системою живлення та електронною розподіленою системою впорскування бензину типу *LH-Motronic* зі зворотнім зв'язком і системою нейтралізації відпрацьованих газів.

Ключові слова: автомобіль; бензиновий двигун; система впорскування; карбюраторна система; тягово-швидкісні показники.

SLAVIN VIKTOR

Khmelnytskyi National University

THE INFLUENCE OF THE FEED SYSTEM PETROL ENGINE TYPE TO TRACTION-SPEED PERFORMANCE OF THE AUTOMOBILE

Abstract - The article contains results of the analytical research traction-speed performance of the automobile with the standard carburettor feed system and a distributed electronic petrol injection type *LH-Motronic* with feedback system and waste gases neutralization system. The dynamic factor D at maximum speed ($V_{\max} = 22,749$ m/s) determines the resistance coefficient of the road ψ , which for automobile with petrol injection is $\psi_v = 0,074$, which on 6% more than at the engine carburettor system. The maximum dynamic factor D_{\max} , which is corresponded to the highest road resistance and characterized by a factor ψ_{\max} .

Overcoming road by automobile for uniform motion in first gear with injection where $\psi_{\max} = 0,377$, and the carburettor $\psi_{\max} = 0,36$, which is 5% less than with injection system petrol. Acceleration of automobile in every gear at the given road conditions ($\psi = 0,02$) increase by 6% with petrol injection. Acceleration to $V_{\max} = 22,749$ m/s ($n_d = 3200$ min⁻¹) with the injection system continues to $\tau = 22,43$ seconds. The distance travelled by the vehicle during this time is $S = 303,07$ m, respectively, decreased by 6% than with the carburetor system.

The research is indicated that replacement by carburettor system for the help of system type *LH-Motronic* improves traction-speed characteristics of the automobile.

Keywords: automobile; petrol engine; system of injection; carburettor system; traction-speed characteristics.

Вступ. В умовах експлуатації продовжують транспортну роботу легкові автомобілі з карбюраторними двигунами внутрішнього згоряння, які згідно норм Закону України від 06.07.2005 № 2739-IV забороняється ввозити на територію держави та вперше реєструвати [1]. Фактично цей закон регулює масові викиди шкідливих речовин автомобілями розпочинаючи з рівня «Євро-2», який можна забезпечити використанням удосконалених систем живлення (СЖ) бензинових двигунів та пристроїв нейтралізації відпрацьованих газів (ВГ).

На відміну від карбюраторних систем, обладнання автомобільних двигунів системами впорскування бензину значно знижує його шкідливі викиди, покращує паливо-економічні та енергетичні показники [2–6].

У зв'язку з цим автовиробники для підтримки тих чи інших екологічних норм встановлюють на двигуни автомобілів, які раніше були в експлуатації з карбюраторними системами, системи впорскування бензину, нейтралізації ВГ та уловлювання випарів бензину.

Аналіз попередніх досліджень і публікацій. Експериментальні стендові дослідження бензинового двигуна 4Ч7,9/8,0 легкового автомобіля показали, що застосування електронної розподіленої системи впорскування бензину (ЕРСВБ) типу *LE-Jetronic* призвело до зниження питомої витрати палива в середньому по навантажувальній характеристиці на 8,7%. При повному навантаженні потужність двигуна з системою впорскування зросла на 7,2%. Експериментальні дослідження, проведені на моделюючому роликовому стенді показали, що застосування системи впорскування покращує паливну економічність в русі за режимами Європейського міського їздового циклу на 8,95% [4].

У роботі [5] виконані порівняльні експериментальні дослідження бензинового двигуна 4Ч7,6/6,6 і автомобіля із штатною карбюраторною СЖ та сучасною ЕРСВБ типу *LH-Motronic* зі зворотнім зв'язком та трикомпонентним каталітичним нейтралізатором (ТКН). Двигун з новою ЕРСВБ знижує питому витрату бензину по навантажувальній характеристиці в середньому на 5%, при цьому потужність двигуна при повному навантаженні зросла на 6,6%. Експериментально підтверджено, що автомобіль обладнаний *LH-Motronic* із зворотнім зв'язком і системами нейтралізації ВГ та уловлювання випарів бензину забезпечує екологічні норми «Євро-2». Перехід до ЕРСВБ типу *LH-Motronic* забезпечує зниження витрати бензину в міських умовах в середньому на 7,3% [5].

Виділення невирішених частин. З точки зору техніко-експлуатаційних властивостей автомобіля одним із основних показників, що визначають діапазони зміни швидкостей руху автомобіля, а також інтенсивність його розгону при роботі на тяговому режимі в різних дорожніх умовах є тягово-швидкісні властивості автомобіля [6]. Умови проведення цих досліджень вимагають використання роликово-моделюючого стенду, спеціального вимірювального обладнання, які знаходяться лише в науково-дослідних інститутах.

Мета і постановка задачі. Проте використовуючи лише результати експериментальних досліджень двигуна, технічну характеристику досліджуваного автомобіля та формули з теорії автомобіля можна

визначити експлуатаційні характеристики автомобіля з різними СЖ.

Матеріали і результати досліджень. Тягово-швидкісні показники такі як динамічний фактор і динамічна характеристика, графік прискорень та швидкісна характеристика розгону автомобіля в даній роботі визначаються шляхом обробки результатів стендових досліджень бензинового двигуна 4Ч7,6/6,6 із штатною карбюраторною СЖ та ЕРСВБ типу LH-Motronic зі зворотнім зв'язком та ТКН [5].

Вихідні дані для виконання тягового розрахунку наведені в табл. 1 [5].

Таблиця 1

Вихідні дані для тягового розрахунку (автомобіль ВАЗ-2105)

№ з/п	Параметр	Значення
1	Повна маса автомобіля G_a , кг	1345
2	Тип та розмір шини	175/70 R13
3	Статичний радіус шини $r_{ст}$, м	0,292
4	Динамічний радіус шини $r_d = r_{ст}$, м	
5	Радіус кочення $r_k = r_{ст}$, м	
6	Механічний ККД трансмісії, $\eta_{тр}$	0,9
7	Передаточні числа коробки передач, U_k	I (3,75) II (2,3) III (1,49), IV (1,0)
8	Передаточне число головної передачі, U_0	4,3
9	Фактор обтічності автомобіля w , Н·с ² /м ²	0,25
10	Коефіцієнт опору дороги за найбільшої швидкості, ψ_v	0,028

Для визначення тягово-швидкісних показників автомобіля використовують зовнішню швидкісну характеристику (ЗШХ) двигуна, в іншому випадку її будують користуючись аналітичним методом. Швидкісна характеристика двигуна являє собою графічно виражену залежність потужності, крутного моменту, питомих та годинних витрат палива від частоти обертання колінчастого вала при постійному положенні дросельних заслінок або рейки паливного насоса і при постійних значеннях температури охолодної рідини та моторної оливи [6].

Використовуючи навантажувальні характеристики двигуна 4Ч7,6/6,6 з різними СЖ визначаються максимальна потужність Ne_{max} двигуна з карбюраторною системою та системою впорскування, яка відповідає експериментальному значенню навантажувальної характеристики при $n_d=3200$ хв⁻¹. Для карбюраторної системи $Ne_{maxкрб}=26,5$ кВт, а для системи впорскування $Ne_{maxвп}=28$ кВт [5].

Розрахунки експлуатаційних властивостей автомобіля виконуються в програмному середовищі *MathCad*.

Для побудови ЗШХ визначаємо потужність двигуна за формулою, кВт:

$$Ne = \frac{M_k \cdot n}{9550}, \quad (1)$$

де M_k – крутний момент, Н·м;

n – частота обертання колінчастого вала, хв.⁻¹.

Необхідні проміжні значення потужності N_i для побудови ЗШХ двигуна знаходять, користуючись емпіричною залежністю:

$$N_i = N_{max} \cdot \frac{w_i}{w_N} \cdot \left[a + b \cdot \frac{w_i}{w_N} - \left(\frac{w_i}{w_N} \right)^2 \right], \text{ кВт} \quad (2)$$

де a, b – поправочні коефіцієнти [6];

w_i – поточне значення кутової швидкості колінчастого вала, с⁻¹.

Крутний момент двигуна розраховують за формулою:

$$M_{ki} = 100 \cdot \frac{N_i}{w_i}, \text{ Н·м} \quad (3)$$

Питому витрату палива двигуном знаходять як:

$$g_e = g_N \cdot \left[a_1 - b_1 \cdot \frac{w_i}{w_N} + c_1 \left(\frac{w_i}{w_N} \right)^2 \right], \frac{\text{г}}{\text{кВт} \cdot \text{год}} \quad (4)$$

де g_N – питома витрата палива двигуном при максимальній потужності ($n_d=3200$ хв⁻¹): двигун з карбюратором $g_{Nкрб} = 326 \frac{\text{г}}{\text{кВт} \cdot \text{год}}$; з системою впорскування $g_{Nвп} = 287 \frac{\text{г}}{\text{кВт} \cdot \text{год}}$.

a_1, b_1, c_1 – емпіричні коефіцієнти [6].

Визначена аналітичним методом ЗШХ двигуна з різними СЖ наведена на рис. 1.

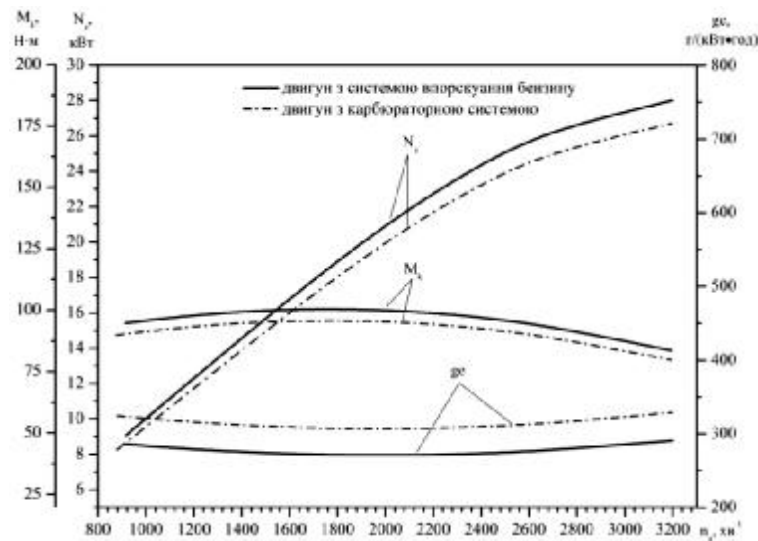


Рис. 1. Швидкісна характеристика бензинового двигуна 4C7,6/6,6 з різним типом СЖ

Як видно з ЗШХ бензинового двигуна з різними СЖ, показники його роботи з ЕРСВБ при порівнянні з карбюраторною системою такі як потужність і крутний момент збільшуються в середньому на 7%. Паливна економічність двигуна покращується при роботі його з системою LH-Motronic в середньому на 11,8%.

Необхідні для побудови динамічної характеристики значення динамічного фактора автомобіля розраховують за формулою:

$$D = \frac{P_p - P_w}{Ga}, \quad (5)$$

де P_p – сила тяги на ведучих колесах, Н;

P_w – сила опору повітря, Н.

Числові значення цих сил визначають, як [6]:

$$P_p = \frac{M_k U_k U_{dk} U_0 h_{tr}}{r_d}, \quad (6)$$

де U_{dk} – передаточне число додаткової коробки передач.

та

$$P_w = W \cdot V^2, \quad (7)$$

Значення швидкостей руху автомобіля визначають, як:

$$V = \frac{W r_k}{U_k U_{dk} U_0}, \text{ м/с.} \quad (8)$$

Визначена динамічна характеристика автомобіля з різними СЖ наведена на рис. 2.

Як видно з рис. 2, динамічний фактор D при максимальній швидкості руху ($V_{\max}=22,749$ м/с) визначає і коефіцієнт опору дороги ψ_v , який для автомобіля з системою впорскування бензину становить $\psi_v=0,074$, що на 6% більше ніж при роботі двигуна з карбюраторною системою. Максимальний динамічний фактор D_{\max} , який відповідає найбільшому дорожньому опору і характеризується коефіцієнтом ψ_{\max} , що долає автомобіль при рівномірному русі на першій передачі становить для автомобіля з системою впорскування $\psi_{\max}=0,377$, а з карбюратором $\psi_{\max}=0,36$, що на 5% менше ніж з ЕРСВБ.

Показником динамічних властивостей автомобіля при нерівномірному русі є прискорення, а також шлях і час у визначеному інтервалі швидкостей. Прискорення автомобіля визначають, як:

$$j = \frac{dV}{dt} = \frac{D - 0,02}{1,04 + 0,04 U_k^2} 9,81, \text{ м/с}^2, \quad (9)$$

Значення величин V та j розраховують для кожної з частот обертання колінчастого вала двигуна і для кожної передачі коробки передач автомобіля. Графічна залежність прискорення автомобіля від швидкості на кожній передачі при заданих дорожніх умовах наведена на рис. 3.

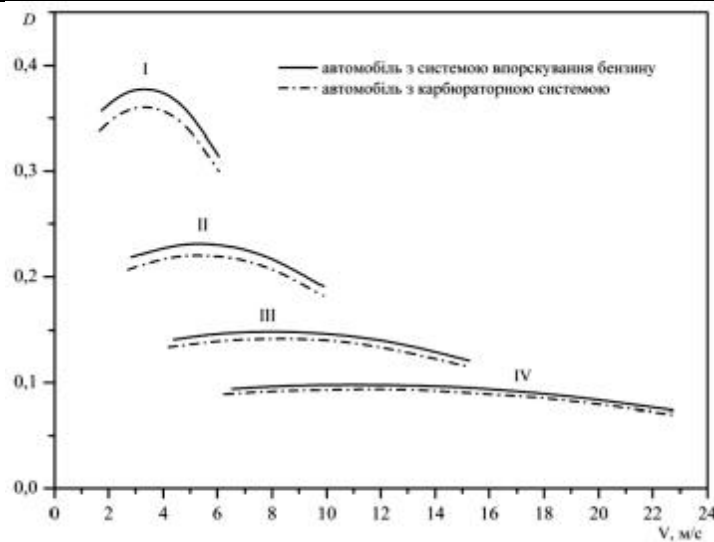
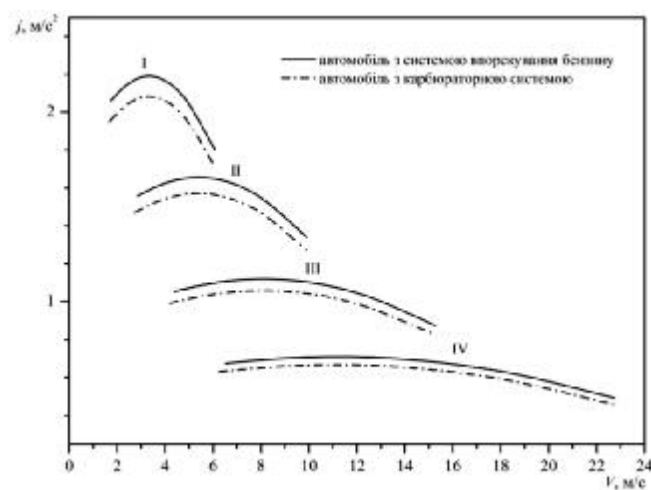


Рис. 2. Динамічна характеристика автомобіля з різними СЖ

Рис. 3. Графік прискорень автомобіля з різними СЖ при $\psi = 0,02$

З рис. 3 видно, що прискорення автомобіля на кожній передачі при заданих дорожніх умовах ($\psi=0,02$) зростає на 6% з системою впорскування бензину.

Числові значення величин для побудови швидкісної характеристики розгону автомобіля знаходять із графіка прискорень (рис. 3), користуючись графоаналітичним методом. З цією метою кожну з кривих графіка прискорень ділять на декілька інтервалів, в межах яких криву можна було б замінити прямою [6]. Межі інтервалів позначають як $V_1, j_1; V_2, j_2; \dots V_{n+1}, j_{n+1}$. Час Δt_i та шлях ΔS_i розгону в кожному з обраних інтервалів визначають за виразами:

$$\Delta t_i = \frac{2(V_{i+1} - V_i)}{j_{i+1} + j_i}, \quad (10)$$

$$\Delta S = \frac{(V_{i+1} + V_i)}{2} \Delta t_i. \quad (11)$$

На підставі обчислених значень отримуємо швидкісну характеристику розгону автомобіля з різними СЖ (рис. 4).

Як видно з рис. 4, розгін автомобіля до $V_{\max}=22,749$ м/с ($n_d=3200$ хв⁻¹) з системою впорскування триває $\tau = 22,43$ с, а відстань, пройдена автомобілем за цей час становить $S=303,07$ м, що менше на 6% ніж при роботі з карбюраторною системою.

Висновки. Отже, проведені аналітичні дослідження свідчать, що заміна карбюраторної системи на ЕРСВБ типу LH-Motronic покращує тягового-швидкісні властивості автомобіля, тобто дозволяє:

- подолати більший опір коченню (кут підйому) на кожній передачі;
- розвинути більшу максимальну швидкість при русі по дорозі з заданим опором кочення та підйому;
- зменшити шлях та час розгону автомобіля до максимальної швидкості;
- збільшити максимальну швидкість, яку може досягти автомобіль на шляху 400 та 1000 м;
- збільшити прискорення автомобіля на кожній передачі.

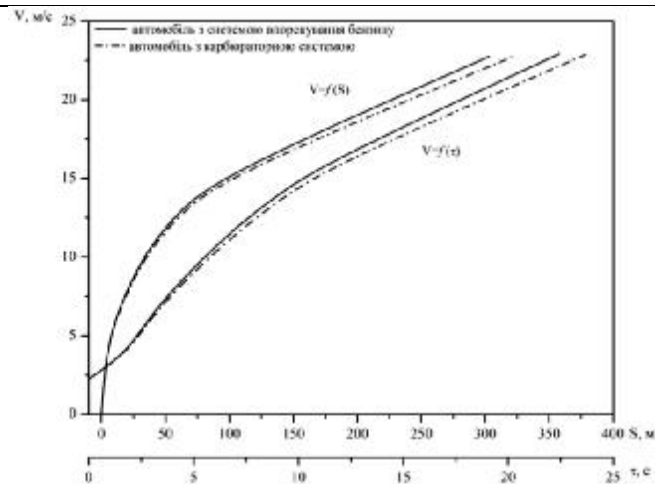


Рис. 4. Швидкісна характеристика розгону автомобіля з різними СЖ при $\psi = 0,02$

Література

1. Редзюк А. М. Уведення екологічних норм Євро-3 – Євро-6 в Україні, аналіз структури парку автомобілів за екологічними ознаками / А. М. Редзюк, В. С. Устименко, О. А. Клименко // Автошляховик України. – 2011. – № 4. – С. 2 – 7.
2. Екологія автомобільного транспорту : навч. посібник / [Гутаревич Ю. Ф., Зеркалов Д. В., Говорун А. Г. та ін.]. – К. : НТУ, 2001. – 287 с.
3. Автомобільні двигуни : підручник / [Абрамчук Ф. І., Гутаревич Ю. Ф., Долганов К. Є., Тимченко І. І.]. – К. : Арістей, 2004. – 476 с.
4. Гунько А. В. Поліпшення паливної економічності та екологічних показників в умовах експлуатації : дис. ... канд. техн. наук : 05.22.20 / Гунько А. В. – К., 2006. – 185 с.
5. Славін В.В. Поліпшення паливної економічності та екологічних показників автомобілів використанням сучасних систем впорскування бензину : дис. ... канд. техн. наук : 05.22.20 / Славін В.В. – К., 2014. – 209 с.
6. Сирота В. І. Автомобілі. Основи конструкції, теорія / В. І. Сирота, В. П. Сахно. – К. : Арістей, 2007. – 288 с.

References

1. A.M. Redziuk., V.S. Ustymenko., O.A. Klymenko [ta in.] Uvedennia ekolohichnykh norm Yevro-3–Yevro-6 v Ukraini, analiz struktury parku avtomobiliv za ekolohichnymy oznakamy, *Avtoshliakhovyk Ukrainy*, 2011, No. 4, pp. 2–7.
2. Hutarevych Y. F., Zerkalov D. V., Hovorun A. H. [ta in.]. *Ekolohiia avtomobilnoho transportu: navch. posibnyk*. Kyiv, NTU, 2001, 287 p.
3. Abramchuk F.I., Hutarevych Y.F., Dolhanov K.Y., Tymchenko I.I. *Avtomobilni dvyhuny: pidruchnyk*. Kyiv, Aristei, 2004, 476 p.
4. Hunko A.V. *Polipshennia palyvnoi ekonomichnosti ta ekolohichnykh pokaznykiv v umovakh ekspluatatsii: dys. na zdobuttia nauk. stupenia kand. tekhn. nauk : 05.22.20*. Kyiv, 2006, 185 p.
5. Slavin V.V. *Polipshennia palyvnoi ekonomichnosti ta ekolohichnykh pokaznykiv avtomobiliv vykorystanniam suchasnykh system vporskuvannia benzynu: dys. na zdobuttia nauk. stupenia kand. tekhn. nauk : 05.22.20*. Kyiv, 2014, 209 p.
6. Syrota V.I., Sakhno V.P., *Avtomobili. Osnovy konstrukttsii, teoriia*. Kyiv, Aristei, 2007, 288 p.

Рецензія/Peer review : 14.7.2015 р.

Надрукована/Printed : 28.6.2015 р.

Рецензент: д.т.н., професор Гутаревич Ю.Ф.